

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
20. November 2003 (20.11.2003)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 03/095698 A2**

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **C23C 14/00**

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE03/01524

(22) Internationales Anmeldedatum:

7. Mai 2003 (07.05.2003)

13 a, 01689 Weinböhla (DE). **REINHOLD, Ekkehart** [DE/DE]; Neulussheimer Strasse 43, 01465 Langebrück (DE). **SCHUHMACHER, Bernd** [DE/DE]; An Der Fillkuhle 11a, 44227 Dortmund (DE).

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(74) Anwalt: **PFENNING, MEINIG & PARTNER GBR**; Gostritzer Strasse 61-63, 01217 Dresden (DE).

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(30) Angaben zur Priorität:

102 21 816.1 10. Mai 2002 (10.05.2002) DE  
102 28 925.5 25. Juni 2002 (25.06.2002) DE

(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V.** [DE/DE]; Hansastrasse 27c, 80686 München (DE).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(54) **Title:** DEVICE AND METHOD FOR THE ELECTRON BEAM ATTENUATION OF REACTIVELY FORMED LAYERS ON SUBSTRATES

(54) **Bezeichnung:** VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUM ELEKTRONENSTRAHLAUFDAMPFEN VON REAKTIV GEBILDETEN SCHICHTEN AUF SUBSTRATEN

(57) **Abstract:** The invention relates to a device and method for the electron beam attenuation of reactively formed layers on substrates in a vacuum. The aim of the invention is to increase the efficiency compared to conventional solutions and to improve the quality of the reactively formed layers. To these ends, the invention provides that both a crucible containing a chemical element as well as a substrate to be coated are provided inside a vacuum chamber, and an electron beam source is provided on said vacuum chamber. A shield with an aperture opening, through which the produced vapor can reach the substrate, is placed between the crucible containing the chemical element and the substrate. The shield protects at least one element for exciting, dissociating and/or ionizing a reactive gas, which is introduced via at least one gas inlet protectively arranged between the substrate and the shield.

WO 03/095698 A2

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Elektronenstrahlaufdampfen von reaktiv gebildeten Schichten auf Substraten im Vakuum. Dabei soll aufgabengemäß gegenüber herkömmlichen Lösungen der Wirkungsgrad erhöht und die Qualität der reaktiv gebildeten Schichten verbessert werden. Erfindungsgefäße müssen hierzu innerhalb einer Vakuumkammer ein chemisches Element enthaltender Tiegel, ein zu beschichtendes Substrat sowie an der Vakuumkammer eine Elektronenstrahlquelle vorhanden. Zwischen dem chemischen Element enthaltenden Tiegel und dem Substrat ist eine Abschirmung mit einer Blendöffnung, durch die gebildeter Dampf zum Substrat gelangen kann, angeordnet. Die Abschirmung schützt dabei mindestens ein Element zur Anregung, Dissoziation und/oder Ionisierung eines Reaktivgases, das über mindestens einen zwischen Substrat und Abschirmung geschützt angeordneten Gaseinlass eingeführt wird.

Vorrichtung und Verfahren zum Elektronenstrahlaufdampfen von reaktiv gebildeten Schichten auf Substraten

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Elektronenstrahlaufdampfen von reaktiv gebildeten Schichten auf Substraten im Vakuum, wobei auf den Oberflächen von Substraten Beschichtungen als z.B. Oxide, Nitride, Carbide aber auch Carbonitride u.a. ausgebildet werden können.

Neben verschiedenen anderen Möglichkeiten ist die Verdampfung z.B. eines Metalls innerhalb einer Vakuumkammer unter Verwendung von Elektronenstrahlen, mit denen das jeweilige Metall aufgeheizt, geschmolzen und nachfolgend verdampft werden kann, an sich bekannt.

Ein solcher Verdampfungsprozess kann üblicherweise bei Innendrücken in Vakuumkammern von ca. 0,01 bis 0,1 Pa durchgeführt werden. Beim Einsatz von Elektronenstrahlquellen mit relativ hoher Leistung können dabei Schichtauftragsraten von mehreren  $\mu\text{m/s}$  erreicht werden, wobei die Teilchenenergie des mit dem Elektronenstrahl erzeugten Metalldampfes unterhalb 1 eV liegt.

Die Wechselwirkung zwischen Metalldampf und Elektronenstrahl ist vernachlässigbar. Die so aus dem reinen Metall auf Substraten ausgebildeten Schichten weisen eine poröse und stängelige Struktur auf.

Es sind auch Lösungsansätze bekannt, mit denen unter Verwendung von Elektronenstrahlen aus einem mit dem Elektronenstrahlen gebildeten Metalldampf und einem zusätzlich zugeführten Reaktivgas auf Substraten Be-

schichtungen, die aus reaktiv gebildeten Metallverbindungen bestehen, hergestellt werden können.

Infolge der relativ geringen Reaktivität der üblicherweise verwendeten Reaktivgase, wie z.B. Stickstoff, Sauerstoff oder Kohlenwasserstoffverbindungen zu den jeweiligen Metallen, ist eine Zufuhr des Reaktionsgases erforderlich, die einen entsprechend hohen Partialdruck innerhalb der Vakuumkammer bewirkt.

Durch diesen erhöhten Partialdruck des Reaktivgases wird der für die Verdampfung eingesetzte Elektronenstrahl in erhöhtem Maß gestreut und dementsprechend kann ein großer Anteil der Energie des Elektronenstrahls nicht für die reine Verdampfung ausgenutzt werden, so dass eine erhöhte Verlustleistung zu verzeichnen ist.

Der erhöhte Partialdruck bewirkt außerdem, dass die Teilchenenergien, der im Dampf enthaltenen Atome, durch Stöße zusätzlich reduziert und dadurch die Porosität (Erhöhung) und Haftfestigkeit (Verringerung) der auf der Substratoberfläche ausgebildeten Beschichtung ebenfalls negativ beeinflusst werden.

Diese Probleme können auch mit der aus DE 36 27 151 A1 beschriebenen Lösung nicht befriedigend gelöst werden.

Dabei werden ein Metall enthaltender Tiegel innerhalb einer gesonderten inneren Kammer in einer Vakuumkammer angeordnet und durch eine Öffnung ein Elektronenstrahl zur Ausbildung eines Metalldampfes auf die Metallocberfläche gerichtet. Innerhalb der inneren Kammer ist eine zusätzliche Reaktivgaszuführung vorhanden und es wird bei Partialdrücken von bis zu 10 Pa

gearbeitet. Infolge der bereits erwähnten erhöhten Streuung des Elektronenstrahls ist dementsprechend eine erhöhte Strahlleistung, insbesondere eine hohe Beschleunigungsspannung, erforderlich. Eine solche Elektronenstrahlquelle muss mit Beschleunigungsspannungen, die oberhalb 30 kV liegt, betrieben werden.

Diese Nachteile können auch mit einer zusätzlichen als Anode geschalteten Elektrode, die außerhalb der inneren Kammer, um eine Öffnung, die in der inneren Kammer ausgebildet ist, und die Elektrode zwischen der inneren Kammer und dem Substrat angeordnet ist, nicht beseitigt werden.

Es ist daher Aufgabe der Erfindung, Möglichkeiten vorzuschlagen, wie Schichten aus reaktiv gebildeten chemischen Verbindungen auf Substraten durch Elektronenstrahlverdampfung des jeweiligen chemischen Elementes mit erhöhtem Wirkungsgrad und verbesserten Schichteigenschaften erhalten werden können.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe mit einer Vorrichtung, die die Merkmale des Anspruchs 1 aufweist sowie einem Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 13 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungsformen und Weiterbildungen der Erfindung können mit den in den untergeordneten Ansprüchen genannten Merkmalen erreicht werden.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung zum Elektronenstrahlaufdampfen von reaktiv gebildeten Schichten auf Substraten verwendet innerhalb einer Vakuumkammer einen das jeweilige chemische Element enthaltenden Tiegel. Mit einer an der Vakuumkammer vorhandenen Elektronenstrahlquelle kann ein Elektronenstrahl zur Verdampfung des chemischen Elementes auf die Oberfläche

innerhalb des Tiegels gerichtet werden.

Zwischen dem das chemische Element enthaltenden Tiegel und dem Substrat ist eine Abschirmung vorhanden, in der eine Blendenöffnung für den auf das Substrat gerichteten Dampf ausgebildet ist. Zwischen dieser Abschirmung und dem Substrat, auf dem die reaktiv gebildete Beschichtung ausgebildet werden soll, ist mindestens ein zusätzliches Element vorhanden, das zur Anregung, Dissozierung und/oder Ionisierung eines jeweils verwendeten Reaktivgases geeignet ist. Sowohl der mindestens eine Gaseinlass für das Reaktivgas, wie auch das mindestens eine Element zur Aktivierung, Dissozierung und/oder Ionisierung des Reaktivgases sind dabei innerhalb vor einer Bedämpfung geschützter Bereiche, durch entsprechende Ausbildung der Abschirmung und der Ausbildung und Anordnung der Blendenöffnung, angeordnet. Mit einer solchen Anordnung wird das mindestens eine zusätzliche Element von den Wechselwirkungen des Reaktivgases mit dem gebildeten Dampf nicht unmittelbar beeinflusst.

Durch den mindestens einen Gaseinlass für Reaktivgas kann auch ein Gasgemisch, in dem neben Reaktivgas auch inertes Gas enthalten ist zugeführt werden. Inertes Gas kann aber auch gesondert zugeführt werden, wobei eine Inertgaszuführung auch vor der Abschirmung, also innerhalb der Vakuumkammer angeordnet sein kann und das neutrale Gas beispielsweise in den Einflussbereich des Elektronenstrahles und/oder in den gebildeten Dampf zugeführt werden kann.

Dadurch kann eine unmittelbare Beeinflussung des mindestens einen Elementes und des von diesem, nicht beeinflussten zugeführten Reaktivgases durch den gebildeten Dampf des chemischen Elementes vermieden wer-

den.

Die Anregung, Dissozierung und/oder Ionisierung des jeweiligen Reaktivgases wird mit dem mindestens einen Element durch entsprechende Energiezufuhr erreicht. Dies kann mittels elektrischer Entladungen, Mikrowellen-Entladungen bzw. auch durch gebildete elektromagnetische Felder erreicht werden.

Dementsprechend kann das eine oder auch mehrere Elemente als entsprechende Elektroden, Spulen aber auch als Antennen ausgebildet sein.

Die Aktivierung des Reaktivgases kann beispielsweise durch Bogen-, Glimm- und/oder Hohlkathodenentladungen erreicht werden, wobei dementsprechend das eine oder auch mehrere Element(e) entsprechend ausgebildet werden kann/können.

In einer relativ einfachen Ausführungsform kann/können eine oder auch mehrere Elektroden eingesetzt werden, an die eine gegenüber dem elektrischen Potential der Vakuumkammer positive Gleichspannung angeschlossen wird.

Im einfachsten Fall kann es sich dabei um eine bzw. auch mehrere Ringelektrode(n) handeln, die um die jeweilige Blendenöffnung ausgebildet ist/sind.

Die Blendenöffnung kann als Schlitzblende, mit bevorzugt rechteckigem bzw. quadratischem Querschnitt ausgebildet sein.

Bei der Ausnutzung von Bogenentladungen ist der Einsatz von mindestens zwei Elektroden, die als Anode und Kathode mit entsprechenden elektrischen Potentia-

len beaufschlagt werden, erforderlich.

Es besteht besonders vorteilhaft die Möglichkeit, die jeweilige Anode als ein Element zur Erhöhung der Reaktivität des Reaktivgases im geschützten Bereich zwischen Abschirmung und Substrat anzuordnen und den das jeweilige chemische Element enthaltenden Tiegel als Kathode zu schalten. Dadurch kann gleichzeitig eine zusätzliche Aktivierung des gebildeten Dampfes erreicht werden.

Für den Fall, dass das mindestens eine Element eine Hohlkathode ist, sollte das zugeführte Reaktivgas durch die Hohlkathode geführt werden. Hierbei kann es erforderlich sein, bevorzugt über einen zweiten Gas-einlass zusätzlich ein Inertgas zu und durch die Hohlkathode zu führen. Ein geeignetes Inertgas ist beispielsweise Argon.

Bei der erfindungsgemäßen Lösung sollte, wie bereits angedeutet, die Blendenöffnung so ausgebildet und die Blendenöffnung und das mindestens eine Element so angeordnet sein, dass Dampf nicht unmittelbar auf das eine oder auch entsprechend mehrere eingesetzte Element(e) auftreffen kann, also eine geradlinige Bewegung von Dampfteilchen, ausgehend vom Tiegel zu dem einen oder auch mehreren Element(en), nicht möglich ist. Gegenüber den bekannten Lösungen kann mit der Erfindung die Zufuhr des erforderlichen Reaktivgases deutlich reduziert und die reaktive Schichtbildung bei Partialdrücken, die  $\leq 0,15$  Pa, bevorzugt auch  $\leq 0,1$  Pa liegen, durchgeführt werden. Des Weiteren kann die Elektronenstrahlquelle mit deutlich geringerer Leistung und mit Beschleunigungsspannungen unterhalb von 20 kV betrieben werden.

Mit der Erfindung können unterschiedliche Beschichtungen aus unterschiedlichen reaktiv gebildeten, z.B. Metallverbindungen auf Oberflächen von Substraten ausgebildet werden. Neben Metallen können auch andere chemische Elemente, wie z.B. Silicium oder Bor eingesetzt werden.

Dementsprechend können für das jeweilige chemische Element und die jeweils gewünschte reaktiv gebildete Verbindung unterschiedliche Reaktivgase zugeführt werden.

So kann es sich bei dem zugeführten Reaktivgas um reinen Sauerstoff zur Ausbildung von Oxidschichten, aber auch um reinen Stickstoff zur Ausbildung von Nitridschichten handeln.

Des weiteren besteht die Möglichkeit, auch Wasserstoff enthaltende Verbindungen als Reaktivgas zuzuführen, wobei mit dem mindestens einen Element zusätzlich zur Anregung bzw. Ionisierung auch eine Dissoziation in Form einer zumindest teilweisen Aufspaltung einer solchen Wasserstoff enthaltenden Verbindung erreicht werden kann.

Als solche Reaktivgase können beispielsweise Kohlenwasserstoffverbindungen eingesetzt werden, die bevorzugt eine relativ geringe Bindungsenergie aufweisen, so dass nach der zumindest teilweisen Aufspaltung eine reaktiv gebildete Carbidschicht oder Carbonitridschicht hergestellt werden kann.

Es ist aber auch die Verwendung von Ammoniak, als ein entsprechend geeignetes Reaktivgas, das entsprechend aufgespalten werden kann, zur Ausbildung von Nitridschichten denkbar.

Bei der Verwendung von Wasserstoff enthaltenden Verbindungen als Reaktivgas, kann der freigesetzte Wasserstoff ohne weiteres aus der Vakuumkammer mittels der ohnehin vorhandenen Vakuumpumpe entfernt werden.

Mit der erfindungsgemäßen Lösung bestehen außerdem Möglichkeiten für eine sich vorteilhaft auf die Schichtausbildung auswirkende Regelung bzw. Steuerung der Verfahrensführung.

So kann beispielsweise der Volumenstrom des zugeführten Reaktivgases gesteuert oder geregelt werden.

Des Weiteren bestehen Möglichkeiten zur Beeinflussung der Wirkung des mindestens einen Elementes zur Anregung, Dissoziation und/oder Ionisierung des Reaktivgases über die Beeinflussung der entsprechenden elektrischen Spannung, des elektrischen Stromes und demzufolge der zuführbaren Leistung. Es kann aber auch die Leistung eines Mikrowellengenerators geregelt oder gesteuert werden.

Zusätzlich und auch allein kann aber auch die jeweilige Leistung der Elektronenstrahlquelle entsprechend beeinflusst werden.

Für eine Regelung ist es vorteilhaft, während der Verfahrensführung plasmarelevante Parameter zu detektieren. Dies kann beispielsweise mit einem entsprechend geeigneten Sensor, z.B. auf optischem Wege mittels eines Emissionsspektroskops erfolgen.

Es besteht aber auch die Möglichkeit, die elektrische Spannung und/oder den elektrischen Strom, der jeweils

an dem einen oder auch an mehreren Element(en) anliegt bzw. fließt, zu bestimmen, da diese Parameter von den Bedingungen und insbesondere vom Zustand des Plasmas beeinflusst werden.

Eine weitere vorteilhafte Einflussnahmemöglichkeit besteht darin, dass auch das Substrat, auf dessen Oberfläche die entsprechende Beschichtung ausgebildet werden soll, mit einem günstigen elektrischen Potential beaufschlagt werden kann. So kann eine entsprechende positive oder auch negative elektrische Spannung, die gegebenenfalls auch die plasmarelevanten Parameter berücksichtigen kann, angeschlossen werden, so dass die Schichtbildungsraten und die Qualität der ausgebildeten Beschichtung dadurch zusätzlich verbessert werden können.

Neben der bereits erwähnten, mit der Erfindung erreichbaren Reduzierung des Partialdruckes, bei gleichzeitig reduzierter Leistung, insbesondere der Beschleunigungsspannung der Elektronenstrahlquelle können mit der Erfindung auch definierte und reproduzierbare Bedingungen bei der Führung des Beschichtungsverfahrens eingehalten werden.

Die erfindungsgemäß gewünschte Beeinflussung, mit gleichzeitiger Erhöhung der Reaktivität des Reaktivgases ist auf einen bestimmten, für den Prozess günstigen Bereich begrenzt. Der Verdampfungsprozess, insbesondere der Elektronenstrahl bleiben hiervon weitestgehend unbeeinflusst.

Des Weiteren werden unerwünschte Ablagerungen von gebildeten Reaktionsprodukten an der Innenwand einer Vakuumkammer sowie anderen weiteren Einbauten weitestgehend vermieden.

Außerdem bestehen Möglichkeiten, die chemische Reaktion zwischen dem Reaktivgas bzw. einer elementaren Komponente des Reaktivgases mit dem jeweiligen Dampf des chemischen Elementes gezielt zu beeinflussen. Dadurch können die Schichtzusammensetzung und die Schichteigenschaften ebenfalls gezielt beeinflusst werden. Dabei kann die jeweilige Substrattemperatur weitestgehend vernachlässigt werden. So ist z.B. eine Aufheizung oder Kühlung eines Substrates nicht erforderlich, was sich insbesondere bei im Durchlauf durch eine Vakuumkammer geführten Substraten vorteilhaft auswirkt.

Die erfindungsgemäße Lösung kann bei translatorisch durch eine Vakuumkammer bewegten Substraten, zur Ausbildung von Oberflächenschichten eingesetzt werden. Es ist aber auch eine entsprechende Drehung eines Substrates innerhalb einer Vakuumkammer möglich.

Nachfolgend soll die Erfindung beispielhaft näher beschrieben werden.

Dabei zeigt:

Figur 1 ein Beispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung in schematischer Form.

In Figur 1 ist ein Beispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung in schematischer Form dargestellt. Dabei ist hier innerhalb einer Vakuumkammer ein Tiegel 7 angeordnet; in dem ein Metall als chemisches Element 8 enthalten ist.

Mit einer Elektronenstrahlquelle 10, die an der Vakuumkammer vorhanden ist, wird ein Elektronenstrahl 11

auf die Oberfläche des chemischen Elementes 8, z.B. ein Metall gerichtet und durch entsprechenden Energieeintrag Dampf 9 gebildet, der, wie mit dem Pfeil angedeutet, zum zu beschichtenden Substrat 4 geführt wird.

Zwischen dem das chemische Element 8 enthaltenden Tiegel 7 und dem Substrat 4, das wie mit dem horizontal ausgerichteten Pfeil angedeutet, bei diesem Beispiel im Durchlauf durch eine Vakuumkammer geführt werden kann, ist eine Abschirmung 3 angeordnet. In dieser Abschirmung 3 ist eine Blendenöffnung 6 ausgebildet, an der bei diesem Beispiel ein trichterförmiger Eintritt für den Dampf 9 zusätzlich vorhanden ist.

Bei diesem Beispiel bildet die Abschirmung 3 einen Teil einer Reaktionskammer, wobei der restliche Teil der Reaktionskammer im Wesentlichen vom Substrat 4 gebildet worden ist.

Es besteht aber auch die Möglichkeit, die Abschirmung 3 in Gänze als Reaktionskammer auszubilden, in der dann das jeweilige zu beschichtende Substrat aufgenommen werden kann.

An der hier gezeigten Abschirmung 3 ist ein Gaseinlass 5 für ein Reaktivgas vorhanden, der möglichst außerhalb des Bereiches angeordnet ist, der unmittelbar vom Dampf 9 beeinflusst werden kann.

Das gleiche trifft auch für die Elektrode 1 zu, die bei diesem Beispiel als Ringelektrode um die Blendenöffnung ausgebildet ist.

Mit dieser Ringelektrode 1, als ein Element, kann ei-

ne Anregung, Dissoziation und/oder Ionisierung, eines durch den Gaseinlass 5 zugeführten Reaktivgases erreicht werden, so dass die Reaktivität zwischen dem jeweiligen Dampf 9 und dem jeweiligen Reaktivgas bzw. einer elementaren Komponente eines solchen Reaktivgases innerhalb der Zone 2 erhöht ist.

Anstelle einer Ringelektrode können aber auch zwei bzw. mehrere Elektroden separat zueinander entsprechend angeordnet werden.

Eine zusätzliche Ionenquelle ist bei diesem Beispiel nicht erforderlich.

Es kann aber eine großvolumige Anregung des Reaktivgases erreicht und ein Gas-Dampf-Gemisch mit hoher Reaktionsfreudigkeit in der Zone 2 zur Ausbildung der jeweiligen Verbindung für die auszubildende Schicht erreicht werden.

Für die Ausbildung einer Titanitridbeschichtung auf einem Substrat 4 wird Titan als chemisches Element 8 innerhalb des Tiegels 7 verwendet.

Vor der Ausbildung der Beschichtung wird die Vakuumkammer auf einen Druck von  $10^{-3}$  Pa evakuiert.

Nach einem Vorheizen des Titans mittels der Elektronenstrahlquelle 10 wird über den Gaseinlass 5 Stickstoff zugeführt, bis ein Partialdruck von 0,08 Pa im Bereich zwischen der Abschirmung 3 und dem Substrat 4 erreicht worden ist, und mittels eines entsprechenden Regelsystems auf diesen Partialdruck stabilisiert.

Die Elektronenstrahlquelle 10 wird mit einer Beschleunigungsspannung von 16 kV betrieben.

An der Elektrode 1 wird eine Gleichspannung, die gegenüber dem elektrischen Potential innerhalb der Vakuumkammer und insbesondere dem elektrischen Potential, das am Tiegel 7 anliegt, positiv ist, in Höhe von 60 V angelegt.

Im Anschluss an eine kurze Anlaufzeit stellt sich an der Elektrode 1 ein Entladungsstrom in Höhe von einigen 100 A ein und die elektrische Spannung bei dieser Entladung liegt bei ca. 40 bis 50 V.

Bei einer gleichförmigen Bewegung des Substrates 4 durch die Vakuumkammer kann eine konstante Schichtdicke, der reaktiv gebildeten Titannitridbeschichtung erreicht werden, wobei stöchiometrische Titannitridschichten mit goldgelber Färbung mit einem E-Modul von 400 GPa hergestellt werden.

Bei ansonsten konstanten Verfahrensbedingungen kann die jeweilige Schichtdicke durch entsprechende Geschwindigkeit, mit der das Substrat durch die Vakuumkammer bewegt wird, beeinflusst werden.

## Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Elektronenstrahlaufdampfen von reaktiv gebildeten Schichten auf Substraten, bei der in einer Vakuumkammer ein ein chemisches Element (8) enthaltender Tiegel (7), ein zu beschichtendes Substrat (4) sowie an der Vakuumkammer eine Elektronenstrahlquelle (10) zur Verdampfung des chemischen Elementes (8) vorhanden sind; dabei zwischen dem das chemische Element (8) enthaltenden Tiegel (7) und dem Substrat (4) eine Abschirmung (3), in der eine Blendenöffnung (6) für auf das Substrat (4) gerichteten Dampf (9) sowie mit der Abschirmung (3) geschützt mindestens ein Element (1) zur Anregung, Dissoziierung und/oder Ionisierung eines Reaktivgases, das über mindestens einen zwischen Substrat (4) und Abschirmung (3) geschützt angeordneten Gaseinlass (5) einführbar ist, angeordnet sind.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das/die Element(e) (1) eine Elektrode oder eine elektrische Spule ist/sind.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das/die Element(e) (1) als Ringelektrode(n) ausgebildet ist/sind.

4. Vorrichtung nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das/die Element(e) (1) als Hohlkathode ausgebildet ist/sind.
5. Vorrichtung nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Element (1) mindestens eine Antenne für Mikrowellen oder die Ausbildung elektromagnetischer Felder ist.
6. Vorrichtung nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens zwei unterschiedliche Elemente (1) für die Anregung, Dissoziation und/oder Ionisierung von Reaktivgas vorhanden sind.
7. Vorrichtung nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Blendenöffnung (6) so ausgebildet und Blendenöffnung (6) und das mindestens eine Element (1) so angeordnet sind, dass kein Dampf (9) unmittelbar auf das/die Element(e) (1) auftrifft.
8. Vorrichtung nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Abschirmung (3) eine Reaktionskammer oder einen Teil einer Reaktionskammer bildet.
9. Vorrichtung nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der das chemische Element (8) enthaltende Tiegel (7) mit einem elektrisch negativen Potential beaufschlagt ist und eine Kathode bildet sowie mindestens eine Elektrode, als ein Element (1) an ein elektrisch positives Potential angeschlossen ist und eine Anode bildet.

10. Vorrichtung nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein zusätzlicher Gaseinlass für ein inertes Gas vorhanden ist.
11. Vorrichtung nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Sensor zur Erfassung plasmarelevanten Parameter vorhanden ist.
12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass der Sensor ein Emissionsspektroskop ist.
13. Verfahren zum Elektronenstrahlaufdampfen von reaktiv gebildeten Schichten auf Substrate, bei dem innerhalb einer Vakuumkammer mittels eines auf ein in einem Tiegel (7) enthaltenen chemischen Elementes (8) gerichteten Elektronenstrahles (11) Dampf (9) gebildet, der Dampf (9) durch eine in einer Abschirmung (3) ausgebildete Blendenöffnung (6) auf die zu beschichtende Oberfläche des Substrates (4) gerichtet, innerhalb eines geschützten Bereiches zwischen Abschirmung (3) und Substrat (4) mit mindestens einem Element (1) eine Anregung, Dissoziierung und/oder Ionisierung eines über mindestens einen Gaseinlass (5) zugeführten Reaktivgases durchgeführt, aus dem chemischen Element, dem Reaktivgas oder einer elementaren Komponente des Reaktivgases

auf der Substratoberfläche, die reaktiv gebildete Schicht ausgebildet wird.

14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass als Reaktivgas ein elementares Gas zugeführt wird.
15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass Stickstoff oder Sauerstoff zugeführt wird.
16. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass als Reaktivgas eine Wasserstoff enthaltende Verbindung zugeführt wird.
17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass als Reaktivgas eine Kohlenwasserstoffverbindung oder Ammoniak zugeführt wird.
18. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 13 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass das Reaktivgas mit einem Partialdruck  $\leq 0,15$  Pa zugeführt wird.
19. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 13 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass die Anregung, Dissozierung und/oder Ionisierung durch eine elektrische und/oder Mikrowellen-Entladung durchgeführt wird.
20. Verfahren nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass die Anregung, Dissozierung und/oder Ionisierung durch eine Bogen-, Glimm- und/oder Hohlkathodenentladung durchgeführt wird.

21. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 13 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass die Anregung, Dissoziation und/oder Ionisierung mittels elektromagnetischer Felder durchgeführt wird.
22. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 13 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass zusätzlich ein inertes Gas zugeführt wird.
23. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 13 bis 22, dadurch gekennzeichnet, dass mit einer Entladung eine zusätzliche Anregung des Dampfes (9) durchgeführt wird.
24. Verfahren nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, dass die zusätzliche Anregung des Dampfes (9) mittels einer Bogenentladung zwischen einer als Anode geschalteten Elektrode, als ein Element (1) und dem als Kathode geschalteten, das chemische Element (8) enthaltenden Tiegel (7), durchgeführt wird.
25. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 13 bis 24, dadurch gekennzeichnet, dass der Partialdruck, mit dem das Reaktivgas zugeführt wird, geregelt oder gesteuert wird.
26. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 13 bis 25, dadurch gekennzeichnet, dass die elektrischen Parameter des/der Elemente(s) (1) und/oder der Elektronenstrahlquelle (10) geregelt oder gesteuert werden.
27. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 25 und 26, dadurch gekennzeichnet, dass die Regelung in Abhängigkeit von plasmarelevanten und/oder elektrischen Parametern durchgeführt wird.

28. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 13 bis 27, dadurch gekennzeichnet, dass Titan als Metall (8) und Stickstoff zur Ausbildung einer Titannitridschicht auf dem Substrat (4) verwendet werden.
29. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 13 bis 28, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat (4) bei der Ausbildung der Beschichtung bewegt wird.
30. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 13 bis 29, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat mit einem vorgebbaren elektrischen Potential beaufschlagt wird.

111

